

王菁, 袁丽萍, 孟顺龙, 等. 氮磷比对鱼腥藻和普通小球藻生长竞争的影响[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(5): 316-320.

氮磷比对鱼腥藻和普通小球藻生长竞争的影响

王菁¹, 袁丽萍², 孟顺龙^{1,2}, 范立民², 宋超², 陈家长^{1,2}

(1. 南京农业大学渔业学院, 江苏无锡 214081;

2. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心/中国水产科学研究院内陆渔业生态环境与资源重点开放实验室, 江苏无锡 214081)

摘要:通过室内试验研究了不同氮磷比(低氮磷比组:N/P=16:1;中低氮磷比组:N/P=32:1;中高氮磷比组:N/P=64:1;高氮磷比组:N/P=320:1)条件下鱼腥藻(*Anabaena* sp. strain PCC)、普通小球藻(*Chlorella vulgaris*)的生长及种间竞争情况,结果表明,鱼腥藻在中高氮磷比下的现存量最大。氮磷比对纯培养体系中普通小球藻的生长没有显著影响,但对混合培养体系中普通小球藻的生长有显著影响,中低氮磷组普通小球藻的现存量最大。氮磷比对藻类的竞争抑制参数影响显著。低氮磷比、中低氮磷比下,鱼腥藻在竞争中占优势;中高氮磷比、高氮磷比下,鱼腥藻、普通小球藻不稳定共存。

关键词:普通小球藻;鱼腥藻;氮磷比;种间竞争

中图分类号: X524 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)05-0316-04

浮游植物是水生态系统的初级生产者,其种群变动、群落结构直接影响水生态系统的结构与功能。浮游植物间也存在竞争,各种环境条件对竞争结果有重要影响。水域初级生产力受水体中氮、磷等营养元素的影响,这些营养元素是浮游植物进行光合作用、合成有机物的物质基础。其中氮、磷被认为是水体水华暴发的限制性因子^[1-3],藻类水华的发生通常被认为与氮、磷供给有关。氮、磷形态影响藻类对氮、磷的吸收速率及利用效率,氮、磷浓度影响藻类细胞的生长以及胞内物质积累。普通小球藻(*Chlorella vulgaris*)是氧化塘的主要藻类之一,能为好氧菌提供氧气,将复杂的有机物质分解为简单的无机物,实现对富含养分的废水进行资源化处理的目的^[4]。同时小球藻还是鱼类的优良饵料,对水体中的氮磷有一定的去除作用^[5-6]。鱼腥藻(*Anabaena* sp.)是富营养化水体、养殖水体中的主要有害藻之一。目前有关小球藻、鱼腥藻的研究较多,但这些研究大多探讨环境因素对单一藻种生长特性的影响^[7-9]。本研究以太湖等浅水湖泊以及养殖池塘中常见的普通小球藻、鱼腥藻为试验藻种,探讨了不同氮磷比下普通小球藻与鱼腥藻的种间竞争关系,旨在为控制水体富营养化提供依据。

1 材料与与方法

1.1 藻种

试验用普通小球藻、鱼腥藻(PCC菌株)购自中国科学院水生生物研究所。藻种扩大培养采用BG11培养基。玻璃仪器经清水冲洗后,在1%稀盐酸中浸泡30 min,再用无菌水冲

洗,高温灭菌,烘干备用。试验期间的培养条件与扩大培养期间的培养条件一致,光照强度约为2 500 lx,光暗周期为12 h:12 h,温度为25℃。光照期间每天每隔2 h手工摇匀锥形瓶1次,暗期则静置。

1.2 方法

设置4个浓度梯度,每个浓度梯度设置3个试验组,分别为普通小球藻单独培养组(C组)、鱼腥藻单独培养组(A组)、普通小球藻与鱼腥藻混合培养组(CA组),每组试验重复3次。将经室内扩大培养的普通小球藻、鱼腥藻5 000 r/min离心5 min,去掉上清液,用15 mg/L NaHCO₃溶液洗涤离心,重复2次。用无氨水稀释到试验所需浓度。各组普通小球藻、鱼腥藻初始接种密度均为5×10⁵个/mL。在容积为250 mL的锥形瓶中配制培养液200 mL,然后置于光照恒温培养箱内,在温度为25℃、光照强度为2 200 lx、光暗比为12 h:12 h条件下进行一次性培养(中间不更换培养液)。培养过程中,每天固定时间用孔径为0.45 μm的针式滤器从各试验组取水,测定氮、磷浓度,并用NaNO₃、KH₂PO₄、无氨水补足氮、磷、水至初始水平(表1)。

表1 不同试验组氮、磷浓度

组别	总氮含量 (μg/mL)	总磷含量 (μg/mL)	氮磷比 (物质的量之比)
低氮磷比组	0.18	0.025	16:1
中低氮磷比组	0.36	0.025	32:1
中高氮磷比组	0.72	0.025	64:1
高氮磷比组	3.60	0.025	320:1

1.3 细胞计数

试验开始后每24 h统计1次藻类数量。当所有藻类生物量均出现负增长时试验结束,藻类出现负增长前1 d的生物量即为该种藻类的最大现存量。

1.4 数据分析

1.4.1 藻类比生长速率 藻类特定增长率计算公式如下^[10]:

收稿日期:2013-11-26

基金项目:现代农业产业技术体系建设专项(编号:CARS-49);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(编号:2013JBFM06);江苏省无锡市农业产学研合作项目。

作者简介:王菁(1989-),女,江苏无锡人,硕士研究生,从事渔业生态环境监测与保护研究。E-mail:wxwangjing1989@126.com。

通信作者:陈家长,硕士,研究员,从事渔业生态环境监测与保护研究。E-mail:chenjz@ffrc.cn。

$$\ln \frac{N_n}{N_{n-1}} = \mu_n \times (t_n - t_{n-1}) \quad (n=1,2,3,4,\dots) \quad (1)$$

式中： μ_n 为第 n 天的比生长速率； N_n 为第 n 天的细胞密度（个/L）； N_{n-1} 为第 $n-1$ 天的细胞密度（个/L）； t_n 为对应于 N_n 的培养时间； t_{n-1} 为对应于 N_{n-1} 的培养时间。平均比生长速率（ μ ）为藻类从试验开始至生物量达最大现存量这一时间段内的比生长速率平均值^[11]。

1.4.2 生长曲线拟合 利用公式(2)拟合藻类的增长过程。

$$\ln \frac{K-N}{N} = a - rt \quad (2)$$

式中： N 为藻类生物量， K 为最大生物量， r 为内禀增长率， t 为生长时间， a 为常数。

1.4.3 竞争抑制参数 利用 Lotka - Volterra 竞争模型的差分形式计算竞争抑制参数^[12]。

$$\frac{N_{C,n} - N_{C,n-1}}{t_n - t_{n-1}} = \frac{r_C N_{C,n-1} (K_C - N_{C,n-1} - \alpha \times N_{A,n-1})}{K_C} \quad (n=1,2,3,4,\dots) \quad (3)$$

$$\frac{N_{A,n} - N_{A,n-1}}{t_n - t_{n-1}} = \frac{r_A N_{A,n-1} (K_A - N_{A,n-1} - \beta \times N_{C,n-1})}{K_A} \quad (n=1,2,3,4,\dots) \quad (4)$$

式中： N_C 、 N_A 分别为混合培养组普通小球藻、鱼腥藻 t_n 时的数量； $N_{C,n-1}$ 、 $N_{A,n-1}$ 分别为混合培养组普通小球藻、鱼腥藻在 t_{n-1} 时的数量； r_C 、 r_A 分别为普通小球藻、鱼腥藻的内禀增长率（由单种培养经回归计算获得）； K_C 、 K_A 分别为普通小球藻、

鱼腥藻的最大环境容量（由单种培养获得）； α 、 β 分别为混合培养组鱼腥藻对普通小球藻的竞争抑制参数及普通小球藻对鱼腥藻的竞争抑制参数。

应用上述公式计算混合培养藻类的增长曲线在拐点处达到最大环境容量这一时间段内每一单位时间的所有竞争抑制参数，其平均值作为这种藻类对另一种藻类的竞争抑制参数估计值^[13]。参照 Logistic 方程，在藻类增长曲线拐点之后，藻类增长过程趋缓并逐渐稳定在 1 个水平上。生物生长拐点也称密度制约的起始点（setting point）或抑制起始点，即 Logistic 方程二阶导数等于零时的时间 t_p 值，此时 $N = K/2$ ， $t_p = a/r$ ， t_p 对 a/r 取整数^[13-14]。

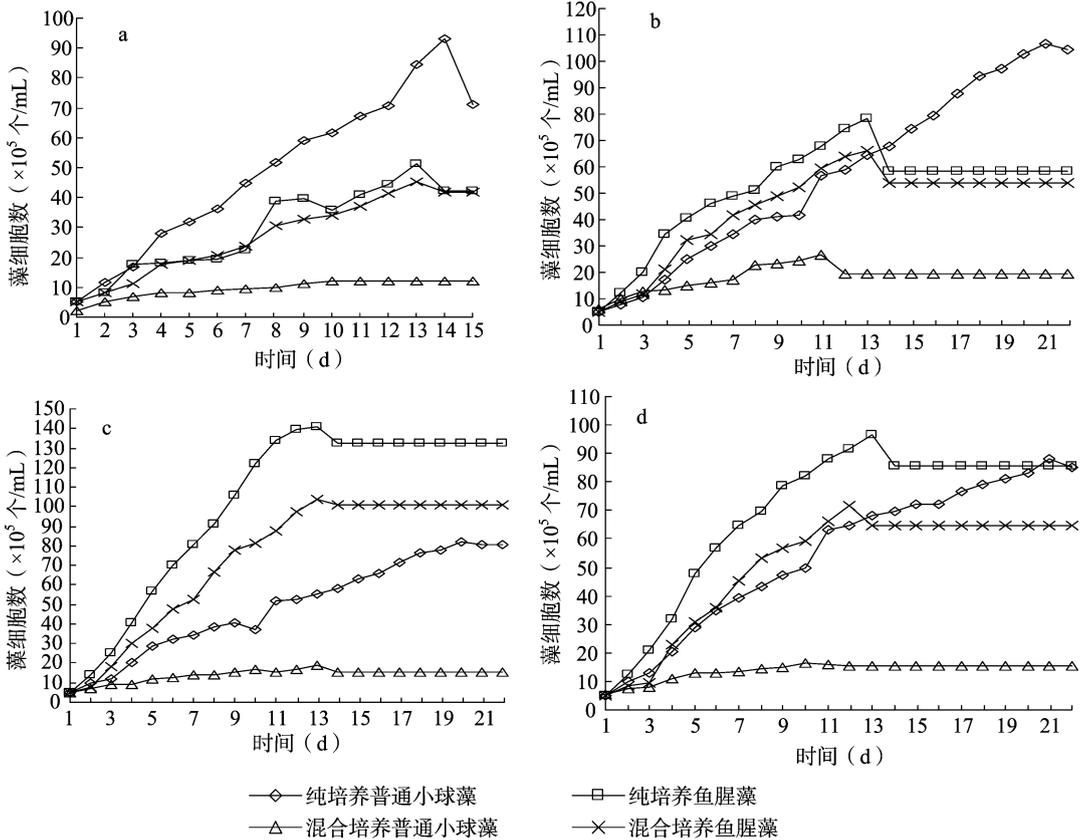
1.5 统计分析

采用单因素方差分析法处理数据，并用 t 检验方法对回归方程进行回归显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同氮磷比条件下普通小球藻、鱼腥藻的生长情况

由图 1 可知，在纯培养体系中，氮磷比对普通小球藻最大生物量的影响不显著（ $P > 0.05$ ）；在混合培养体系中，不同氮磷比对 2 种藻类的最大生物量均具有显著影响（ $P < 0.05$ ）。纯培养体系中，普通小球藻的最大生物量由大到小依次为：中低氮磷比组 > 高氮磷比组 > 低氮磷比组 > 中高氮磷比组。纯培养体系中，鱼腥藻的最大生物量由大到小依次为：中高氮磷比组 > 高氮磷比组 > 中低氮磷比组 > 低氮磷比组，其中中高



a、b、c、d 分别代表低氮磷比组、中低氮磷比组、中高氮磷比组、高氮磷比组

图1 不同氮磷比下普通小球藻和鱼腥藻纯培养组及混合培养组的生长曲线

氮磷比组与中低氮磷比组之间差异显著($P < 0.05$)。在相同培养时间下,普通小球藻生长1~13 d生物量由大到小依次为:低氮磷比组 > 高氮磷比组 > 中低氮磷比组 > 中高氮磷比组;鱼腥藻生物量由大到小依次为:中高氮磷比组 > 高氮磷比组 > 中低氮磷比组 > 低氮磷比组。混合培养体系中,普通小球藻的最大生物量由大到小依次为:中低氮磷比组 > 中高氮磷比组 > 高氮磷比组 > 低氮磷比组。在相同培养时间下,普通小球藻生物量由大到小依次为:中低氮磷比组 > 中高氮磷比组 > 高氮磷比组 > 低氮磷比组。混合培养体系中,鱼腥藻的最大生物量由大到小依次为:中高氮磷比组 > 高氮磷比组 > 中低氮磷比组 > 低氮磷比组。相同培养时间下,鱼腥藻生物量由大到小依次为:中高氮磷比组 > 高氮磷比组 > 中低氮磷比组 > 低氮磷比组。由表2可见,氮磷比对2种藻的平均比生长速率产生影响。在纯培养及混合培养体系中,鱼腥藻的平均比生长速率均表现为:中高氮磷比组 > 高氮磷比组 > 中低氮磷比组 > 低氮磷比组。普通小球藻的平均比生长速率在纯培养条件下由大到小依次为:低氮磷比组 > 中低氮磷比组 > 中高氮磷比组 > 高氮磷比组,混合培养条件下平均比生长速率由大到小依次为:低氮磷比组 > 中低氮磷比组 > 高氮

磷比组 > 中高氮磷比组。由图1可知,纯培养体系中,普通小球藻、鱼腥藻在不同氮磷比下的生长曲线基本符合“S”形生长曲线,说明不同氮磷比下,纯培养藻类的生长曲线均可用Logistic模型拟合。为计算拐点出现时间,用Logistic方程对混合培养体系中普通小球藻、鱼腥藻的生长进行了拟合,得到各生长曲线的拐点出现时间(表3)。纯培养体系中,无论在何种氮磷比下,鱼腥藻出现拐点的时间都比普通小球藻早;混合培养体系中,各氮磷比下,普通小球藻的拐点出现时间均早于鱼腥藻。

表2 不同氮磷比下普通小球藻、鱼腥藻的平均比生长速率

藻类	氮磷比	比生长速率	
		纯培养	混合培养
普通小球藻	16 : 1	0.225	0.199
	32 : 1	0.153	0.150
	64 : 1	0.147	0.109
	320 : 1	0.143	0.138
鱼腥藻	16 : 1	0.194	0.184
	32 : 1	0.229	0.215
	64 : 1	0.278	0.253
	320 : 1	0.247	0.242

表3 不同氮磷比下普通小球藻、鱼腥藻的Logistic模型拟合参数及拐点出现时间

培养方式	氮磷比	藻类	K (万个/mL)	a	r	R ²	拐点出现时间 (d)
纯培养	16 : 1	普通小球藻	929.6	2.650	0.352	0.958	7.5(8)
		鱼腥藻	515.3	2.200	0.339	0.918	6.5(7)
	32 : 1	普通小球藻	1 065.4	2.950	0.276	0.966	10.7(11)
		鱼腥藻	783.2	2.470	0.424	0.946	5.8(6)
	64 : 1	普通小球藻	818.5	2.430	0.262	0.955	9.3(9)
		鱼腥藻	1 407.7	3.590	0.591	0.957	6.1(6)
320 : 1	普通小球藻	880.3	2.320	0.260	0.968	8.9(9)	
	鱼腥藻	964.5	2.840	0.483	0.979	5.9(6)	
混合培养	16 : 1	普通小球藻	122.5	1.330	0.393	0.905	3.4(3)
		鱼腥藻	452.7	2.240	0.359	0.975	6.3(6)
	32 : 1	普通小球藻	264.5	1.510	0.379	0.949	4.0(4)
		鱼腥藻	661.6	2.810	0.465	0.965	6.0(6)
	64 : 1	普通小球藻	186.0	0.976	0.264	0.943	3.7(4)
		鱼腥藻	1 036.1	3.260	0.430	0.977	7.6(8)
320 : 1	普通小球藻	164.0	0.925	0.370	0.967	2.5(3)	
	鱼腥藻	718.9	2.910	0.446	0.976	6.5(7)	

注:括弧内数据是对拐点出现时间四舍五入的结果。

2.2 普通小球藻、鱼腥藻竞争抑制参数

由表4可知,低氮磷比组、中低氮磷比组鱼腥藻对普通小球藻的竞争抑制参数(α)均大于普通小球藻对鱼腥藻的竞争抑制参数(β)。低氮磷比时,鱼腥藻对普通小球藻的竞争抑制参数(α)最大;中高氮磷比时,普通小球藻对鱼腥藻的竞争抑制参数(β)最大。

3 结论与讨论

本研究表明,鱼腥藻在中高氮磷比下的现存量最大,说明鱼腥藻有1个最适生长氮磷比。氮磷比对纯培养体系中普通小球藻的生长没有显著影响,但对混合培养体系中普通小球藻的生长有显著影响,中低氮磷比下,普通小球藻的现存量最大。氮磷比对藻类的竞争抑制参数影响显著。低氮磷比时,

鱼腥藻对普通小球藻的竞争抑制参数(α)最大;中高氮磷比时,普通小球藻对鱼腥藻的竞争抑制参数(β)最大。低氮磷、中低氮时,鱼腥藻在竞争中占优势;中高氮磷比、高氮磷比时,鱼腥藻、普通小球藻不稳定共存。

3.1 氮磷比对纯培养体系中普通小球藻、鱼腥藻生长的影响

氮磷是自然水体中藻类生长的限制性因子。学者们从营养盐的相对浓度比值来考虑营养盐对浮游植物生长的影响,通过相对比值判断为限制的因子只表明此营养盐首先被损耗到低值,但并不一定代表此营养盐低于限制浮游植物生长的阈值^[15]。本试验表明,普通小球藻在氮磷比为16 : 1条件下比生长率最大,这与马彩虹等的研究结果^[16]一致。鱼腥藻在氮磷比为64 : 1条件下比生长率最大,这与王亚超等的研究结果^[17]不一致。纯培养体系中,普通小球藻受氮磷比的影响

表4 不同氮磷比下普通小球藻、鱼腥藻的竞争抑制参数

培养时间 (d)	低氮磷比组		中低氮磷比组		中高氮磷比组		高氮磷比组	
	α	β	α	β	α	β	α	β
3	0.623 3						6.521 0	
4	2.618 0		3.352 0		4.062 0		-4.757 0	
5	4.706 0		1.592		-0.637 9		0.965 8	
6	3.196 0	2.348 0	1.693 0	0.343 8	1.084 0		2.167 0	
7	3.071 0	1.027 0	1.362 0	1.180 0	0.915 9		1.801 0	0.525 4
8	3.244 0	-1.757 0	-0.521 1	1.132 0	1.303 0	1.618	1.173 0	1.330 0
9	1.628 0	1.043 0	1.386 0	0.771 2	0.578 6	2.538	1.190 0	2.034 0
10	1.706 0	1.199 0	1.348 2	0.027 6	0.486 4	3.417	0.671 1	2.100 0
11		0.284 3	0.812 3	0.167 9	1.116 0	2.504		0.839 1
12		-0.343 4		0.307 0	0.443 7	1.722		0.822 0
13		-0.330 4			0.262 3	1.723		
平均	2.600 0	0.433 9	1.378 0	0.561 3	0.961 4	2.254	1.217 0	1.275 0

并不显著;鱼腥藻在氮磷比为 64 : 1 时的最大生物量与氮磷比 16 : 1、32 : 1 时的最大生物量差异显著,说明鱼腥藻有 1 个最适生长的氮磷比例,这与顾启华等的研究结果^[18]一致。磷不仅参与碳水化合物在藻细胞不同细胞器之间的转运过程,更重要的是直接参与能量如 ATP 代谢^[19]。薛凌展等研究表明,将磷浓度上调至 150 mg/L,小球藻的生长速度明显有所回升,提高水体中的磷浓度,能够促进绿藻的生长^[20]。

3.2 氮磷比对普通小球藻、鱼腥藻生长竞争的影响

本研究表明,低氮磷比时,鱼腥藻对普通小球藻的竞争抑制参数(α)最大;中高氮磷时,普通小球藻对鱼腥藻的竞争抑制参数(β)最大。说明藻类竞争抑制参数受氮磷比影响较大,不同氮磷比条件下,2 种藻处于不同的竞争优势地位。Liao 认为,随着氮添加量的增加,不具有固氮作用的藻类会占优势,当没有外源氮输入时,具有固氮作用的藻类会占优势^[21]。许秋瑾等研究表明,当初始接种浓度为 1 : 1 时,微囊藻感到生存压力,会分泌出更多的藻毒素来抑制另一种藻的生长^[22]。说明可以分泌藻毒素的蓝藻门鱼腥藻对普通小球藻的抑制早于普通小球藻对鱼腥藻的抑制^[23-24]。藻类种间抑制主要是通过竞争营养盐、光照等资源而产生的抑制以及分泌克生物质而产生的抑制^[25]。当 1 种浮游植物由于缺乏某种营养盐而使其生长受限时,可能会促进另一种对该营养盐要求较低的浮游植物快速生长。胡开辉等研究表明,小球藻在生长过程中通过吸收外部的氮磷等营养物质而不断生长繁殖的同时,也降低了外部环境中的氮磷含量^[4]。由此可推断,在混合培养体系中,普通小球藻的生长改变了环境中的氮磷比,解释了中高、高氮磷比下,普通小球藻在首先受到抑制的情况下,对鱼腥藻的竞争抑制参数大于鱼腥藻对普通小球藻的竞争抑制参数的现象。

参考文献:

[1] Zhai S, Yang L, Hu W. Observations of atmospheric nitrogen and phosphorus deposition during the period of algal bloom formation in northern Lake Taihu, China [J]. Environmental Management, 2009, 44(3): 542-551.

[2] Stevenson R J, Bennett B J, Donielle N J, et al. Phosphorus regulates stream injury by filamentous green algae, DO, and pH with thresholds

in responses [J]. Hydrobiologia, 2012, 695(1): 25-42.

[3] Zhang J Y, Ni W M, Luo Y, et al. Response of freshwater algae to water quality in Qinshan Lake within Taihu Watershed, China [J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2011, 36(9/10/11): 360-365.

[4] 胡开辉, 朱行, 汪世华, 等. 小球藻对水体氮磷的去除效率 [J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2006, 35(6): 648-651.

[5] 余云龙, 邹华, 张强, 等. 黑暗条件下普通小球藻处理废水的研究 [J]. 食品与生物技术学报, 2012, 31(9): 938-943.

[6] 刘淑坡, 李飞. 固定化核蛋白小球藻对人工废水中不同形态氮和磷的去除 [J]. 山东理工大学学报: 自然科学版, 2012, 26(4): 43-47.

[7] Zhu M, Zhu G, Zhao L, et al. Influence of algal bloom degradation on nutrient release at the sediment-water interface in Lake Taihu, China [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2013, 20(3): 1803-1811.

[8] 王小冬, 秦伯强, 高光. 高温强太阳光照条件下蓝藻水华形成的实验研究 [J]. 生态科学, 2008, 27(5): 357-361.

[9] 李宝洁. 不同磷浓度下砷对小球藻 *Chlorella vulgaris* 的生物效应 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.

[10] Chu Z S, Jin X C, Iwami N, et al. The effect of temperature on growth characteristics and competitions of *Microcystis aeruginosa* and *Oscillatoria mougeotii* in a shallow, eutrophic lake simulator system [J]. Hydrobiologia, 2007, 581(1): 217-223.

[11] 孟顺龙, 裴丽萍, 胡庚东, 等. 氮磷比对两种蓝藻生长及竞争的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(7): 1438-1444.

[12] 陈家长, 孟顺龙, 胡庚东, 等. 温度对两种蓝藻种间竞争的影响 [J]. 生态学杂志, 2010, 29(3): 454-459.

[13] 陈德辉, 刘永定, 袁峻峰, 等. 微囊藻和栅藻共培养实验及其竞争参数的计算 [J]. 生态学报, 1999, 19(6): 908-913.

[14] 茅华, 许海, 刘兆普, 等. 不同起始细胞数量对旋链角毛藻和中肋骨条藻种群竞争的影响 [J]. 海洋环境科学, 2008, 27(5): 458-461.

[15] 许海, 朱广伟, 秦伯强, 等. 氮磷比对水华蓝藻优势形成的影响 [J]. 中国环境科学, 2011, 31(10): 1676-1683.

[16] 马彩虹, 麻晓霞, 马玉龙, 等. 不同氮磷浓度对小球藻生长性能的影响 [J]. 安徽农业科学, 2012, 40(22): 11367-11369.

[17] 王亚超, 徐恒省, 王国祥, 等. 氮、磷等环境因子对太湖微囊藻与水华鱼腥藻生长的影响 [J]. 环境监控与预警, 2013, 5(1): 7-10.

刘璐嘉,陈汉新,周明耀,等. 江苏地区富营养化水体浮萍修复技术应用研究[J]. 江苏农业科学,2014,42(5):320-323.

江苏地区富营养化水体浮萍修复技术应用研究

刘璐嘉¹, 陈汉新², 周明耀¹, 钱晓晴^{1,3}, 吴雪飞³, 蔡树美³, 周雄飞³

(1. 扬州大学水利与能源动力工程学院, 江苏扬州 225009; 2. 江苏省常州市水利局, 江苏常州 213003;

3. 扬州大学环境科学与工程学院, 江苏扬州 225009)

摘要:农业面源污染是引起水体富营养化的重要原因,放养浮萍作为富营养化水体修复的一种有效技术,得到越来越广泛的应用。介绍了江苏省农业面源污染状况,给出了江苏省内浮萍种质资源分布与生长环境的调查研究结果,介绍了江苏地区内浮萍在富营养化水体修复中的相关研究进展。示范试验研究结果表明,该项技术在江苏地区河、湖富营养化水体生态修复中具有广阔的应用前景。

关键词:江苏地区;浮萍;农业面源污染;富营养化;修复技术

中图分类号: X52 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)05-0320-04

大量氮磷等营养物质、农药、重金属以及其他有机和无机污染物通过农田地表径流和地下渗漏进入江、河、湖泊等水体,引起水体富营养化,严重破坏了水域环境,导致一系列水生态环境问题^[1-2]。随着江苏地区农业的快速发展,由农业面源污染造成的水体富营养化问题日趋严重,导致难以估量的损失。加强水体富营养化的控制,采取有效措施逐步恢复水体原有功能,具有重要意义。与其他水生植物相比,浮萍科植物具有增殖快、高氮磷吸收能力、易收获、不易造成二次污染且具有经济价值等优势,是水体污染治理的优选方案,已经被许多国家应用于污染水体的处理^[3-6]。我国在该研究领域起步较晚,大部分研究仅限于实验室规模,实际应用研究比较缺乏。目前针对江苏省各地浮萍资源及水体修复的研究开展较少,限制了该地区浮萍在富营养化水体净化中的应用。本研究以江苏地区浮萍为研究对象,分析了江苏省农业面源污染及水体富营养化状况,结合江苏省内浮萍种质资源分布与生长环境的调查研究结果,介绍了浮萍在富营养化水体修复中的相关研究进展,通过示范应用成果阐述该项技术在江苏

地区水污染治理中的应用前景。

1 江苏省农业面源污染及水体富营养化状况

江苏省农业生产条件得天独厚,随着农业生产集约化及畜禽业规模的不断扩大,化肥、农药施用绝对量及施用强度增加迅速,加之比较薄弱的农业基础设施和粗放农业生产管理,致使农业面源污染问题愈加突出。2008年江苏省化肥施用总量达到340.8万t,化肥施用强度达到453.7 kg/hm²,远高于全国平均水平(335.3 kg/hm²),更是远远超过国家为防止化肥污染而制定的标准;2008年江苏省农田所施农药总量达到9.4万t,农业施用强度达到13 kg/hm²,同样远高于全国平均水平^[7]。农田施用的化肥、农药随农田排水、地表径流和地下渗漏进入水体,除此之外通过污染大气而后随降雨间接污染水体。

江苏省拥有丰富的水资源,在全省10.26万km²面积中,水面面积占1.73万km²。境内河川交错,水网密布,平原河网是江苏地区的主要地貌特征。农业面源污染给江苏省近一半的湖泊带来富营养化问题,并逐年加剧,甚至危及城乡居民饮用水的安全。根据《2012年江苏省环境状况公报》^[8],全省地表水环境质量总体处于轻度污染。在列入国家地表水环境质量监测网的83个国控断面中,I~III类水质断面占43.4%,IV~V类水质断面占54.2%,劣V类水质断面占2.4%。地表水国控断面主要污染物高锰酸盐指数和氨氮平均浓度分别为4.1 mg/L和0.51 mg/L。太湖是我国长江中下游地区五大淡水湖之一,水面面积2338 km²,流域面积

收稿日期:2013-09-22

基金项目:江苏省自然科学基金重点项目(编号:BK2010041);江苏省水利科技项目(编号:2010012)。

作者简介:刘璐嘉(1989—),女,浙江舟山人,硕士研究生,主要从事农业水土环境方向的研究。E-mail:liulujia0516@126.com。

通信作者:周明耀,教授,博士生导师,主要从事农田灌溉排水理论与技术方向的研究。E-mail:myzhouyz@163.com。

[18] 顾启华,赵林,谭欣. 铜绿微囊藻·螺旋鱼腥藻和水华束丝藻竞争优势的研究[J]. 安徽农业科学,2007,35(7):1990-1991,2031.

[19] Khozin-Goldberg I, Cohen Z. The effect of phosphate starvation on the lipid and fatty acid composition of the fresh water euglenoid Monas subterraneus [J]. Phytochemistry, 2006, 67(7): 696-701.

[20] 薛凌展,陈小晨,黄种持,等. 温度和磷交互作用对铜绿微囊藻和小球藻生长的影响[J]. 安徽农学通报,2011,17(13):23-25,41.

[21] Liao C F H. The effect of nutrient enrichment on nitrogen fixation

activity in the Bay of Quinte, Lake Ontario [J]. Hydrobiologia, 1977, 56(3): 273-279.

[22] 许秋瑾,高光,陈伟民. 从种群竞争的角度初步研究微囊藻的产毒机理[J]. 生物学杂志,2004,21(1):17-19.

[23] 吕赞,王应军,冷雪,等. 稀土铈对水华鱼腥藻生理特性及藻毒素释放的影响[J]. 农业环境科学学报,2012,31(9):1677-1683.

[24] 黄道孝,肖军华,裴承新,等. 鱼腥藻毒素(Anatoxins)研究进展[J]. 中国海洋药物,2004(2):47-52.

[25] 郑朔方,杨苏文,金相灿. 铜绿微囊藻生长的营养动力学[J]. 环境科学,2005,26(2):152-156.